

Formuler des aliments à moindres impacts environnementaux sans affecter les performances de croissance des porcs à l'engraissement

Francine DE QUELEN (1), Ludovic BROSSARD (1), Aurélie WILFART (2), Jean-Yves DOURMAD (1), Florence GARCIA-LAUNAY (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint Gilles

(2) SAS, INRAE, Institut Agro, 35000 Rennes

Francine.dequelen@inrae.fr

Formuler des aliments à moindres impacts environnementaux sans affecter les performances de croissance des porcs à l'engraissement

Le poste « alimentation » détermine une part importante de l'impact environnemental de la production porcine. Formuler des aliments à moindres impacts pourrait être une solution innovante pour améliorer la durabilité des systèmes. Cependant, cette approche pourrait nuire aux performances des porcs et *in fine* à l'amélioration attendue. L'objectif de cette étude est de tester en conditions d'élevage les effets de stratégies alimentaires utilisant des aliments à moindres impacts sur les performances de croissance des porcs et sur les impacts environnementaux du kg de porc produit. Nous avons comparé à une formulation témoin représentative d'un aliment utilisé sur le terrain (aliment témoin), deux formulations multi-objectifs prenant en compte les impacts environnementaux et le coût des matières premières, l'une incorporant des matières premières à faible impact (écoaliment), l'autre des matières premières produites localement (afin de réduire l'impact du transport des aliments). Quatre-vingt-seize porcs étaient logés dans une salle équipée de distributeurs automatiques d'aliment et d'un automate de pesée permettant une mesure en continu des performances individuelles des porcs de 40 à 115kg. Ils étaient répartis entre trois lots expérimentaux : lot témoin, lot écoaliment et lot aliment local. A l'échelle de l'aliment, l'écoaliment par rapport à l'aliment témoin, a réduit en moyenne son impact sur le changement climatique (CC) de 29,5%, sur la demande en énergie (DE) de 14,4% et sur l'occupation des terres (OT) de 2,7%. De même, par rapport à l'aliment témoin, l'aliment local a réduit en moyenne ses impacts CC de 22,5% et DE de 19,3%, mais a, à l'inverse, augmenté son impact OT de 18,5%. Au niveau de l'animal, il n'y avait aucune différence entre les trois lots expérimentaux sur les performances de croissance et les caractéristiques des carcasses. Par conséquent, les différences d'impacts environnementaux par kg de porc produit observées entre traitements étaient similaires à celles obtenues au niveau des aliments. En conclusion, la formulation d'aliments à moindres impacts environnementaux permet bien de réduire la plupart de ces impacts à l'échelle du système de production, en sortie de ferme, sans altérer les performances de croissance des animaux.

Eco-friendly feed formulation reduces impacts of pig production without consequences on animal performance

Animal feeding contributes greatly to environmental impacts (EI) of pig production. Including EI of feed ingredients as a constraint when formulating diets has thus been proposed as a way to reduce these impacts. However, this approach might impair pig performance and improvement obtained at the feed level. The objective of this study was to test the ability of innovative formulation methods to reduce EI of pig fattening without any detrimental effects on growth performance. We compared three formulation approaches: least-cost formulation (control diet) in accordance with commercial practices; multi-objective (MO) formulation (ecodiet) considering feed cost and EI calculated by life cycle assessment (LCA), and MO formulation using feed ingredients produced locally (local diet) to reduce EI of feed transport. Ninety-six pigs were distributed among three experimental groups (control diet, ecodiet and local diet), with each pig individually measured for live weight and feed intake using an automatic feeding stall. At the animal level, the three diets did not differ in growth performance or carcass characteristics. At the feed level, compared to the control, the ecodiet reduced climate change (CC) by 29.5%, energy demand (ED) by 14.4% and land occupation (LO) by 2.7%, on average. The local diet reduced CC by 22.5% and ED by 19.3%, but increased LO by 18.5%. Consequently, effects of dietary treatments on EI at the farm gate were similar to those at the feed level. It was concluded that multiobjective diet formulation is an effective way to reduce most EI of pig production without impairing animal performance.

INTRODUCTION

Les productions animales sont associées à plusieurs impacts environnementaux tels que le changement climatique, l'occupation des terres ou encore l'eutrophisation. Ces impacts sont particulièrement marqués dans les territoires à forte densité d'animaux d'élevage (Steinfeld et al., 2006)). L'impact environnemental de la production porcine est notamment lié à la production d'aliments, l'utilisation d'énergie non renouvelable sur l'exploitation et les émissions gazeuses issues des bâtiments d'élevage et de la gestion des effluents (Leinonen et Kyriazakis, 2016).

Le poste « alimentation » représente à lui seul 55 à 75 % de l'impact changement climatique, 70 à 90 % de la consommation d'énergie et 85 à 100 % de l'occupation des terres (Basset-Mens and van der Werf, 2005 ; Dourmad et al, 2014). La méthode habituelle de formulation des aliments incorpore des matières premières en prenant en compte les besoins des animaux et en minimisant le coût de la formule. Cette méthode ne considère donc pas les impacts environnementaux associés à la production des matières premières. Or, certaines matières premières, comme le tourteau de soja importé, sont caractérisées par des impacts élevés, alors que les coproduits ou certains protéagineux présentent des impacts plus faibles (Wilfart et al, 2016). Des études précédentes (Mackenzie et al, 2016; Garcia-Launay et al, 2017; Espagnol et al, 2018) ont évalué par modélisation le pouvoir d'atténuation de formules à moindres impacts environnementaux à l'échelle des animaux en sortie de ferme en considérant que les performances animales n'étaient pas modifiées. Ces formules contiennent des proportions plus élevées de coproduits et protéagineux, dont l'utilisation peut poser des questions en raison de leur composition nutritionnelle et de sa variabilité (Cozannet et al, 2010 ; Zijlstra and Beltranena, 2013). Une incorporation accrue de coproduits associée à la formulation à moindres impacts environnementaux pourrait donc nuire aux performances des porcs et de fait, à la réduction des bénéfices attendus. L'objectif de cette étude est alors de tester en conditions d'élevage les effets de ces stratégies alimentaires sur les performances de croissance et sur les impacts environnementaux du kg de porc produit en sortie d'atelier d'engraissement calculés par analyse de cycle de vie.

Dans cet objectif, nous avons identifié deux voies d'amélioration possibles :

- privilégier des matières premières à moindres impacts comme les coproduits ou les protéagineux en utilisant une formulation multi-objectif prenant simultanément en compte les impacts environnementaux et le coût des matières premières dans la matrice de formulation (écoaliment ; Garcia-Launay et al, 2018).

- formuler les aliments avec des matières premières produites localement (aliment local) réduisant notamment l'impact du transport.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Formulation des aliments

La formulation des aliments a été réalisée par une méthode de formulation multi-objectif permettant de considérer simultanément le coût de la formule et plusieurs impacts environnementaux : le changement climatique (CC, kg CO₂ eq), la demande en énergie non renouvelable (EN, MJ),

l'acidification (AC, molc H⁺ eq), l'eutrophisation (EU, kg PO₄³⁻ eq) et l'occupation des terres (OT, m²/an) (Garcia-Launay et al., 2018). Les impacts des matières premières sont calculés par analyse de cycle de vie (ACV) et proviennent de la base de données ECOALIM (version 7, 1/10/2019, <https://www6.inrae.fr/ecoalim/>) (Wilfart et al, 2016). Pour la formulation de l'aliment local, nous avons considéré les valeurs ACV des matières premières en sortie de champ, alors que l'impact du transport jusqu'à l'organisme stockeur est ajouté pour les autres aliments. Les valeurs nutritionnelles des matières premières utilisées pour la formulation sont issues des tables INRA-CIRAD-AFZ (Sauvant et al, 2004). Les aliments sont formulés en prenant en compte les besoins des porcs en phase de croissance jusqu'à 65 kg (aliments croissance) et en phase de finition jusqu'à l'abattage à 115 kg (aliments finition). Les prix des matières premières ont été obtenus auprès de l'IFIP (Didier Gaudré, communication personnelle). Nous avons choisi de formuler les aliments dans le contexte économique du mois d'octobre 2018, représentatif des prix moyens et du ratio moyen tourteau de soja/blé observés sur la période 2018-2019.

Nous avons testé trois stratégies alimentaires :

- un « aliment témoin » représentatif d'un aliment utilisé sur le terrain (taux d'incorporation moyen des matières premières utilisées en formule porc en engraissement en octobre 2018)
- un « écoaliment » formulé avec l'approche multiobjectif (formulation EcoAlim)
- un « aliment local » formulé également en multiobjectif avec des matières premières majoritairement produites sur l'exploitation ou à proximité.

1.2. Expérimentation animale

L'essai expérimental a été réalisé à l'UE3P INRAE de St Gilles (<https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>) en accord avec le comité d'éthique (Saisine n°201904181516 3846).

Cet essai a été mené en une seule répétition de 96 porcs Piétrain X (Landrace X Large White). Ils étaient logés dans une salle équipée de distributeurs automatiques d'aliments et d'un système de pesée automatique permettant une mesure en continu des performances individuelles de 40 à 115 kg (poids vif et consommation d'aliment). Les porcs avaient une boucle à l'oreille droite équipée d'une puce RFID permettant l'identification des animaux au niveau du distributeur automatique d'aliment et de l'automate de pesée. Le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) ont été calculés à partir des données individuelles de poids vif et de consommation alimentaire enregistrées quotidiennement par les automates.

Les porcs ont été répartis en trois lots expérimentaux (témoin, écoaliment et aliment local) en blocs complets équilibrés (32 animaux par lot, 16 mâles entiers et 16 femelles) sur des critères d'origine paternelle (blocs de frères/demi-frères ou sœurs/demi-sœurs) et de poids vif (PV). Les animaux ont reçu les aliments croissance (témoin, écoaliment ou local) entre 40 et 65 kg PV, puis les aliments finition (témoin, écoaliment ou local) entre 65 à 115 kg PV. Les aliments ont été distribués à volonté et les animaux ont eu un accès libre à l'eau. À la fin de l'essai, les porcs ont été abattus dans un abattoir commercial (Cooperl, Montfort sur Meu). Le poids des carcasses a été déterminé au moment de l'abattage et 24h après l'abattage, et le taux de muscle des pièces (TMP) a été mesuré.

1.3 Calcul des impacts environnementaux du kg de gain de poids vif

Les impacts environnementaux du kg de gain de poids vif ont été évalués par ACV pour chaque porc en prenant en compte les performances de croissance individuelles. L'unité fonctionnelle retenue est le kg de gain de poids vif en sortie de ferme. Le périmètre de calcul de l'ACV intègre la production des aliments, l'élevage des animaux et la gestion des déjections pour l'atelier d'engraissement, sans prise en compte de la production des porcelets, selon la méthodologie décrite par Garcia-Launay *et al* (2014). Pour la gestion des effluents, nous avons considéré les modalités les plus fréquemment rencontrées dans le Grand Ouest (animaux élevés sur caillebotis

intégral, stockage du lisier dans une fosse extérieure non couverte, épandage avec enfouissage rapide). L'excrétion d'azote a été déterminée par la méthode du bilan réel simplifié (Corpen, 2003). Les pertes gazeuses azotées en cours d'élevage ou de stockage ont été calculées avec les facteurs d'émissions de l'EMEP (2016) appliqués à l'azote ammoniacal excrété, pour les émissions de NH₃, NOx et N₂, et avec les facteurs de l'IPCC (2006) appliqués à l'azote total excrété, pour le N₂O. L'excrétion de matières organiques est déterminée en fonction de la composition de l'aliment et les pertes en méthane associées à la gestion des effluents calculées à partir des équations du GIEC Tier 2 (IPCC, 2006). Les consommations d'eau et d'énergie de l'élevage ont été intégrées au calcul de l'ACV.

Tableau 1 – Composition et impacts environnementaux des aliments

	Croissance			Finition		
	Témoïn	Ecoaliment	Local	Témoïn	Ecoaliment	Local
Composition des aliments, %						
Maïs	19,20	31,00	10,70	25,20	37,40	2,45
Blé	36,00	15,22	29,50	30,20		21,70
Triticale	10,00		10,00	10,00	14,60	10,00
Orge	5,50		12,25	7,00		34,50
Remoulage de blé	5,10	17,80		5,00	19,50	
Pois	10,00	20,00	20,00	10,00	26,04	27,48
Féverole		5,00	10,00			1,40
Pulpe de betterave				2,60		
Huile de colza		1,50				
Tourteau de tournesol	2,00			2,00		
Tourteau de colza	1,10	7,00	5,00	1,00		
Tourteau de soja	8,44			4,60		
L-Lysine HCl	0,33	0,26	0,25	0,31	0,22	0,22
DL-Méthionine	0,04	0,05	0,09	0,03	0,06	0,08
L-Thréonine	0,09	0,09	0,10	0,08	0,08	0,09
L-Tryptophane	0,01	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03
Sel	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Phosphate monocalcique	0,19		0,01	0,11		0,05
Carbonate de calcium	1,05	1,10	1,12	0,90	1,10	1,05
Complément oligo-vitamines	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Phytase G5000	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Composition nutritionnelle (g/kg)						
Matière sèche ⁽¹⁾	886	884	885	887	880	884
Matière organique ⁽²⁾	838	833	839	843	834	840
Matières azotées totales ⁽¹⁾	148	151	147	132	136	135
Matière grasse ⁽¹⁾	21,3	40,5	18,4	22,2	27,9	17,1
Cellulose brute ⁽¹⁾	31,2	41,3	34,3	34,1	34,8	33,9
Ca ⁽²⁾	6,67	6,74	6,67	6,16	6,20	6,11
P ⁽²⁾	4,35	4,67	3,86	3,96	4,22	3,55
P digestible ⁽²⁾	2,35	2,33	2,36	2,14	2,14	2,14
K ⁽²⁾	6,62	6,86	6,17	5,93	6,59	5,93
Energie brute, MJ/kg ⁽¹⁾	15,84	16,32	15,81	16,03	16,02	15,83
Energie nette, MJ/kg ⁽²⁾	9,82	9,82	9,83	9,85	9,85	9,87
Impacts environnementaux⁽³⁾						
CC (kg CO ₂ eq / kg)	0,53	0,41	0,38	0,47	0,32	0,37
EN (MJ / kg)	4,18	3,87	3,40	4,06	3,36	3,20
AC (molc H ⁺ eq / kg)	0,0094	0,0091	0,0079	0,0094	0,0072	0,0075
EU (kg PO ₄ ³⁻ eq / kg)	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037	0,0031	0,0038
OT (m ² .a / kg)	1,43	1,56	1,62	1,41	1,31	1,70

⁽¹⁾Valeurs analysées. ⁽²⁾Valeurs calculées. ⁽³⁾CC = changement climatique, EN = demande cumulée en énergie non renouvelable, AC = acidification, EU = eutrophisation, OT = occupation des terres.

Tableau 2 – Effet de l'aliment sur les performances zootechniques¹

	Témoïn	Ecoaliment	Local	ETR	Statistiques
Nombre de porcs	31	29	30		
PV initial, kg	40,8	40,5	40,9	0,10	
PV final, kg	113	113	113	0,08	S**
Durée d'engraissement, j	78	78	78		
GMQ, g/j	926	927	931	0,10	S***
IC, kg/kg	2,64	2,64	2,74	0,10	S***, p***
Consommation d'eau, L/porc	386	399	434	0,30	p**
Rendement de carcasse, %	78,2	78,3	78,4	0,01	S**, p*
TMP, %	61,0	61,3	60,7	0,03	S**

¹PV = poids vif (kg); GMQ = gain moyen quotidien (g/j); IC = indice de consommation (kg/kg); TMP = taux de muscle des pièces (%); ETR = écart-type résiduel; S = sexe; P = père; **P<0,01, ***P<0,001.

Tableau 3 – Effet de l'aliment sur les impacts environnementaux¹ en sortie de ferme (par kg de gain de poids en engraissement)

	Témoïn	Ecoaliment	Local	ETR	Statistiques
CC (kg CO ₂ eq)	2,50 ^a	2,06 ^c	2,20 ^b	0,13	S**, p***, A***
EN (MJ)	14,58 ^a	12,47 ^b	12,43 ^b	0,12	S**, p***, A***
AC (molc H ⁺ eq)	0,155 ^a	0,144 ^b	0,154 ^a	0,108	S**, p***, A**
EU (kg PO ₄ ³⁻ eq)	0,029 ^a	0,027 ^b	0,031 ^a	0,113	S**, p***, A***
OT (m ² .a)	4,63 ^b	4,45 ^b	5,69 ^a	0,15	S**, p***, A***

¹CC = changement climatique; EN = demande en énergie non renouvelable; AC = acidification; EU = eutrophisation; OT = occupation des terres; S = sexe; P = père; A = aliment; ETR = écart-type résiduel, **P<0,01, ***P<0,001; a,b,c pour une même ligne : les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes entre elles (P<0,05).

1.4 Statistiques

Les résultats de performances de croissance des animaux et les valeurs des impacts ACV par kg de gain de poids vif ont été soumis à une analyse de variance pour tester les effets du traitement alimentaire (A), du sexe (S), et du père (P) avec la fonction LME et le package NLME du logiciel R (version 3.5.1) (Pinheiro *et al.*, 2018).

2. RESULTATS

2.1. Composition et impacts environnementaux des aliments

La mise en œuvre de la formulation à moindres impacts dans le contexte économique d'octobre 2018 aboutit aux compositions alimentaires présentées dans le tableau 1. Les aliments « témoïn » contiennent en moyenne 71% de céréales, 10% de protéagineux, 9,5% de tourteaux et 5% de coproduits de blé. Les « écoaliments » contiennent 46 à 52% de céréales, 7% de tourteaux (seulement dans l'aliment croissance), 25% à 26% de protéagineux et 17,80 à 19,50% de coproduits de blé. Les aliments « local » contiennent de 62 à 68% de céréales, 5% de tourteaux (seulement dans l'aliment croissance) et 20 à 30% de protéagineux.

En comparaison avec l'aliment témoïn, en prenant en compte la quantité d'aliment consommé sur chaque période, l'écoaliment a en moyenne réduit l'impact changement climatique de 29,5% (-21% en croissance et -32% en finition), la demande en énergie non renouvelable de 14,4% (-8% en croissance et -17% en finition), l'acidification de 18,5% (-3% en croissance et -13% en finition), l'eutrophisation de 12,5% (0% en croissance et -14% en finition) et l'occupation des terres de 2,7% (+9% en croissance et -7% en finition). Pour l'aliment croissance la formulation d'un écoaliment a eu très peu d'effet sur l'impact eutrophisation et a augmenté l'occupation des terres de 10% par rapport à l'aliment témoïn (Tableau 1). En comparaison avec

l'aliment témoïn, en prenant en compte la quantité d'aliment consommé sur chaque période, l'aliment « local » a en moyenne réduit l'impact changement climatique de 22,5% (-27% en croissance, -21% en finition), la demande en énergie non renouvelable de 19,3% et l'acidification de 17,3% (-19% en croissance et -20% en finition) (Tableau 1). A l'inverse, l'aliment local a augmenté l'eutrophisation potentielle de 3% et l'occupation des terres de 18,5% par rapport à l'aliment témoïn (Tableau 1). En comparaison avec l'écoaliment, l'aliment local a un impact demande en énergie non renouvelable plus faible mais un impact occupation des terres plus élevé (Tableau 1).

2.2 Performances zootechniques

Les performances zootechniques sont rapportées dans le tableau 2. Nous n'avons pas observé de différences significatives (P>0,05) entre les trois traitements expérimentaux concernant le GMQ, l'IC, la consommation d'eau, le rendement carcasse ou le TMP. Par contre, les performances différaient significativement entre les femelles et les mâles entiers (P<0,01).

2.3 Impacts environnementaux en sortie de ferme

Les impacts environnementaux en sortie de ferme sont rapportés dans le tableau 3 par kg de gain de poids vif. En comparaison avec l'aliment témoïn, l'écoaliment a permis de réduire significativement (P<0,01) l'impact changement climatique de 18%, la demande en énergie non renouvelable de 15%, l'impact acidification de 7%, l'impact eutrophisation de 7% et l'occupation des terres de 4%, par kg de gain de poids vif (Tableau 3). En comparaison avec l'aliment témoïn, l'aliment local a permis de réduire significativement (P<0,01) l'impact changement climatique de 12% et la demande en énergie non renouvelable de 15% par kg de gain de poids vif (Tableau 3). Par contre nous n'avons pas observé de différence significative

entre l'aliment témoin et l'aliment local pour l'impact acidification par kg de gain de poids vif ($P>0,05$) (Tableau 3). A l'inverse, l'aliment local a significativement augmenté l'impact eutrophisation de 5% et l'occupation des terres de 22% par rapport à l'aliment témoin, par kg de gain de poids vif ($P<0,01$) (Tableau 1).

3 DISCUSSION

Les aliments formulés à moindre coût dans le contexte économique d'octobre 2018 sont composés d'une forte proportion de céréales (environ 70%) et de tourteaux à hauteur de 12% en croissance (dont 8% de tourteau de soja) et 7% en finition (dont 4% de tourteau de soja) (Tableau 1). Les coproduits de céréales (5%) et les protéagineux (10%) sont en plus faibles proportions dans ces formules (Tableau 1). Les aliments obtenus avec l'approche multi-objectif sont caractérisés par une plus faible proportion de céréales et de tourteaux et une proportion accrue de coproduits de céréales (remoulage de blé) et de protéagineux (pois et fèverole) par rapport aux aliments formulés à moindre coût. On observe également une substitution dans la famille des tourteaux : le tourteau de colza remplace le tourteau de soja dans les formules à moindre impact. Mackenzie *et al* (2016) et Garcia-Launay *et al* (2018) observaient des résultats similaires avec une formulation incluant des objectifs environnementaux.

A l'échelle de l'aliment, par rapport à la formulation à moindre coût, la formulation multi-objectif a permis de réduire les critères suivants : l'impact changement climatique, la demande en énergie non renouvelable et l'acidification (Tableau 1). Ces résultats sont en accord avec les résultats d'Eriksson *et al* (2005) et van Zanten *et al* (2015) qui observaient également une réduction des impacts environnementaux lorsque le tourteau de soja était remplacé par des protéagineux ou du tourteau de colza. Le tourteau de soja importé représente une part importante de l'impact de l'aliment formulé à moindre coût. La culture du soja en Amérique du Sud a en effet des impacts importants, liés à la déforestation et aux grandes distances de transport (Van der Werf *et al*, 2005). En comparaison avec le tourteau de colza, le tourteau de soja présente ainsi un impact changement climatique 4 fois supérieur et une demande en énergie non renouvelable 3 fois supérieur (Wilfart *et al*, 2016). Les coproduits des céréales et les protéagineux présentent des impacts environnementaux inférieurs à ceux des céréales et des tourteaux. Ceci s'explique par l'utilisation de l'allocation économique pour la répartition des impacts entre les produits et co-produit d'un même process, cette répartition est recommandée par la FAO (2014). De plus, les processus industriels associés à leur production sont peu gourmands en intrants (Wilfart *et al*, 2016). Les sources de protéines produites localement comme le pois et la fèverole ont des impacts plus faibles car ces cultures ne nécessitent pas de fertilisation azotée contrairement aux céréales (Wilfart *et al*, 2016) et la contribution du transport est réduite. Cependant, du fait de leur rendement de production plus faible, les protéagineux ont un impact occupation des terres supérieur à celui des céréales ou des coproduits de blé (Wilfart *et al*, 2016). Ceci explique pourquoi la formulation de régimes à moindres impacts environnementaux qui incorporent plus de protéagineux et de coproduits en substitution des céréales et des tourteaux permet de réduire la plupart des impacts considérés, à l'exception du critère occupation des terres (Tableau 1).

Des études précédentes (Mackenzie *et al*, 2016 ; Wilfart *et al*, 2018) ont évalué par modélisation le pouvoir d'atténuation de ces formules à moindres impacts à l'échelle des animaux en sortie de ferme en considérant que les performances animales n'étaient pas modifiées. Cependant, Shaw *et al* (2002) ont démontré dans un essai expérimental que l'incorporation de coproduits de blé dans l'aliment de porcs en engraissement peut impacter négativement les performances de croissance des animaux. De même, une substitution du tourteau de soja par du tourteau de colza dans l'alimentation des porcs en croissance peut également diminuer les performances de croissance des animaux (Hulshof *et al*, 2016). Dans certaines conditions, la formulation à moindres impacts environnementaux associée à une incorporation accrue de coproduits et de protéagineux pourrait donc nuire aux performances des porcs et de fait, à la réduction des bénéfices environnementaux attendus.

Dans le présent essai les performances de croissance des porcs entre 40 et 115 kg n'étaient pas modifiées par les différentes stratégies alimentaires testées. Ce n'est pas toujours le cas dans la littérature, certaines études indiquant des performances altérées avec une utilisation croissante de tourteau de colza, de pois, de fèverole ou de coproduits. Cela peut être lié à la plus grande variabilité de la composition de ces matières premières. Dans cette étude, les matières premières utilisées ont été analysées avant la formulation afin d'ajuster la composition des aliments en fonction de leur valeur nutritionnelle réelle. Par ailleurs, les aliments ont été formulés sur la base des teneurs en énergie nette et en acides aminés digestibles au niveau idéal, ce qui permet de sécuriser les régimes à forte teneur en fibres. Les impacts environnementaux ont été calculés à l'échelle globale de l'élevage en prenant en compte la production de l'aliment, l'élevage des animaux et la gestion des effluents. Étant donné que les performances des animaux n'étaient pas modifiées par les stratégies alimentaires testées, les bénéfices environnementaux calculés par kg de porc produit en sortie de ferme étaient similaires à ceux obtenus au niveau de l'aliment. En comparaison avec la formulation à moindre coût, l'écoaliment a significativement réduit les impacts suivants : changement climatique, demande en énergie non renouvelable, acidification et eutrophisation sans détériorer le critère occupation des terres. C'est également ce qu'obtenaient Wilfart *et al* (2018) et Meda *et al* (2020) par simulation. En comparaison avec la formulation à moindre coût, l'aliment local réduit également significativement l'impact sur le changement climatique, mais dans une moindre mesure que l'écoaliment, et la demande en énergie non renouvelable. Par contre les impacts acidification et eutrophisation ne sont pas diminués, contrairement à ce qui était observé pour l'écoaliment. Par ailleurs, avec l'aliment local, la réduction des impacts en sortie de ferme s'est faite au détriment de l'impact occupation des terres qui s'accroît.

L'incorporation dans l'aliment de matières premières à faible impact environnemental apparaît donc une solution innovante pour réduire l'impact de la production porcine sans influencer les performances de croissance des animaux, sous réserve que la valeur nutritionnelle de ces régimes soit bien évaluée.

Cependant, l'incorporation plus importante de protéagineux et de coproduits de céréales dans l'écoaliment pose la question de la disponibilité de ces matières premières sur le territoire. En effet, les protéagineux ne représentent pour le moment que 2% des surfaces de culture en France. Pour pouvoir appliquer la formulation à moindres impacts à grande échelle, il faut

envisager une modification de l'assolement afin d'augmenter la disponibilité des protéagineux. De plus, une demande croissante en coproduits de céréales pourraient entraîner une augmentation de leur prix, et par conséquent une augmentation de leurs impacts environnementaux calculés par allocation économique.

CONCLUSION

Cette étude montre que la formulation d'aliments à moindres impacts environnementaux permet de réduire ces impacts à l'échelle du système de production, en sortie de ferme, sans altérer les performances de croissance des animaux. Cette

stratégie alimentaire doit s'accompagner de mesures complémentaires afin de pouvoir l'appliquer à grande échelle.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Georges GUILLEMOIS et Jean-François ROUAUD pour la fabrication des aliments et Bruno DUTEIL, Guillaume POUPEAU, Josselin DELAMARRE, Marie-Hélène LOHAT et Patrice ROGER pour le suivi des animaux (UE3P, INRAE). Ce travail a bénéficié des crédits incitatifs du département PHASE d'INRAE.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Basset-Mens C., van der Werf H.M.G., 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 105, 127-144.
- CORPEN, 2003. Estimation des rejets d'azote-phosphore-potassium-cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. Ministère de l'écologie, 41 p.
- Cozannet P., Primot Y., Gady C., Métayer J.P., Lessire M., Skiba F., Noblet J., 2010. Energy value of wheat distillers grains with solubles for growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.*, 88, 2382-2392.
- Dourmad J.Y., Ryschawy J., Trousson T., Bonneau M., González J., Houwers H.W.J., Hviid M., Zimmer C., Nguyen T.L.T., Morgensen L., 2014. Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *Animal*, 8 (12), 2027-2037.
- EMEP/EEA, 2016. Air pollutant Emission inventory guidebook 2016. 3.B Manure management. 73 pp.
- Eriksson I.S., Elmquist H., Stern S., Nybrant T. 2005. Environmental Systems Analysis of Pig Production. The Impact of Feed Choice. *Int. J. LCA* 10 (2) 143-154.
- Espagnol S., Gaudré D., Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Garcia-Launay F., 2018. Incidences environnementales de stratégies d'alimentation innovantes en élevages porcins. *Journées Rech. Porcine*, 50, 31-36.
- Food and Agriculture Organization, 2014. Environmental performance of animal feeds supply chains. *Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership*. FAO, Rome.
- Garcia-Launay F., van der Werf H.M.G., Nguyen T.T.H., Le Tutour L., Dourmad J.Y., 2014. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using Life Cycle Assessment. *Livest. Sci.*, 161, 158-175.
- Garcia-Launay F., Wilfart A., Dusart L., Nzally C., Gaudré D., Laisse-Redoux S., Espagnol S., 2017. Une formulation multiobjectif pour réduire les impacts environnementaux des aliments pour porcs charcutiers. *Journées Rech. Porcine*, 49, 239-244.
- Garcia-Launay F., Dusart L., Espagnol S., Laisse-Redoux S., Gaudré D., Méda B., Wilfart A., 2018. Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *Br. J. Nutr.*, 120(11), 1298-1309.
- Hulshof T.G., Van der Poel A.F.B., Hendriks W.H., Bikker P., 2016. Processing of soybean meal and 00-rapeseed meal reduces protein digestibility and pig growth performance but does not affect nitrogen solubilization along the small intestine. *J. Anim. Sci.*, 94:2403-2414.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (Ed. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K), pp. 1-87. Volume 4 – Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 10 – Emissions from Livestock and Manure Management. IGES, Japan.
- Leinonen I., Kyriazakis I., 2016. How can we improve the environmental sustainability of poultry production ? *Proc. Nutr. Soc.*, 75, 265-273.
- Mackenzie S.G., Leinonen I., Ferguson N., Kyriazakis I. 2016. Towards a methodology to formulate sustainable diets for livestock: accounting for environmental impact in diet formulation. *Br. J. Nutr.*, 115, 1860-1874.
- Meda B., Garcia-Launay F., Dusart L., Ponchant P., Espagnol S., Wilfart A., 2020. Reducing environmental impacts of feed using multiobjective formulation: What benefits at the farm gate for pig and broiler production? *Animal*, in press.
- Pinheiro, J., Bates D., DebRoy S., Sarkar D., and Team R.C., 2018. NLME: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-137.
- Sauvart D., Perez J.-M., Tran G, 2004. Association Française de Zootechnie. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage (Porcs, volailles, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons). INRA Editions, 301 p., 2004, 2-7380-1158-6. (hal-02834238)
- Shaw D.T., Rozeboom D.W., Hill G.M., Booren A.M., Link J.E., 2002. Impact of vitamin and mineral supplement withdrawal and wheat middling inclusion on finishing pig growth performance, fecal mineral concentration, carcass characteristics, and the nutrient content and oxidative stability of pork. *J. Anim. Sci.*, 80 (11), 2920-2930.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C., 2006. *Livestock's Long Shadow; Environmental Issues and Options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 390 pp.
- Van der Werf H.M.G., Petit J., Sanders J., 2005. The environmental impacts of the production of concentrated feed: the case of pig feed in Bretagne. *Agric. Syst.*, 83 (2), 153-177.
- Van zanten H.H.E., Bikker P., Mollenhorst H., Meerburg B.G., de Boer I.J.M., 2015. Environmental impact of replacing soybean meal with rapeseed meal in diets of finishing pigs. *Animal*, 9(11), 1866-1874.
- Wilfart A., Espagnol S., Dauguet S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. Ecoalim: a dataset of environmental impacts of feed ingredients used in French animal production. *PLoS ONE*, 11(12), e0167343. doi:10.1371/journal.pone.0167343
- Wilfart A., Dusart L., Méda B., Gac A., Espagnol S., Morin L., Dronne Y., Garcia-Launay F., 2018. Réduire les impacts environnementaux des aliments pour les animaux d'élevage. *INRA Productions Animales*, 31 (3), 289-306.
- Zijlstra R.T., Beltranena E., 2013. Swine convert co-products from food and biofuel industries into animal protein for food. *Anim. Front.* 3, 48-53.